

## ⑫ 公開特許公報(A)

平2-217439

⑤Int.Cl.<sup>5</sup>C 22 C 38/00  
38/48  
38/54

識別記号

3 0 1 F

庁内整理番号

7047-4K

④公開 平成2年(1990)8月30日

審査請求 未請求 請求項の数 5 (全8頁)

⑥発明の名称 耐食、耐酸化性に優れた高強度低合金鋼

②特 願 平1-40738

②出 願 平1(1989)2月20日

⑦発明者 伊勢田 敦朗 大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号 住友金属工業株式会社内

⑦発明者 榎木 義淳 大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33番 住友金属工業株式会社内

⑦出願人 住友金属工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

⑦代理人 弁理士 穂上 照忠 外1名

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

耐食、耐酸化性に優れた高強度低合金鋼

## 2. 特許請求の範囲

- (1) 重量%で、C: 0.02~0.2%、Si: 0.7%以下、Mn: 0.1~1.5%、Ni: 1%以下、Cr: 0.8~3.5%、Mo: 0.1~1.5%、V: 0.01~0.5%、Nb: 0.01~0.2%、Al: 0.005~0.05%、Cu: 0.1~2.5%、Mg: 0.0005~0.5%、N: 0.005~0.05%を含み残部は鉄および不可避免的不純物からなる耐食、耐酸化性に優れた高強度低合金鋼。
- (2) 請求項(1)の成分の中のMoに代えて0.1~3重量%のWを含有する耐食、耐酸化性に優れた高強度低合金鋼。
- (3) 請求項(1)の成分に加えて0.1~3重量%のWを更に含有する耐食、耐酸化性に優れた高強度低合金鋼。
- (4) 更に0.0001~0.02重量%のBを含有する請求項(1)から(3)までのいずれかの耐食、耐酸化性に優れた高強度低合金鋼。

- (5) 更に、それぞれ0.01~0.2重量%のLa、Ce、Y、Ca、Ti、ZrおよびTaからなる群から選択した1種以上を含有する請求項(1)~(4)のいずれかの耐食、耐酸化性に優れた高強度低合金鋼。

## 3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

この発明は、高温強度が高く、耐酸化性、および高温耐食性に優れ、ボイラ、原子力、化学工業などの分野で、特に500℃以上の高温と酸化、腐食に曝される部材として使用するのに好適な低合金鋼に関する。

(従来の技術)

ボイラ、原子力、化学工業などの各種の機器で高温耐熱耐圧部材に使用される材料としては、オーステナイトステンレス鋼、9~12Cr系高Crフェライト鋼、2・1/4 Cr-1 Mo鋼を含むCr量3.5%以下の低合金鋼、炭素鋼が用いられている。これらは対象部材の使用温度、圧力、使用雰囲気などに応じ、かつ経済性を考慮して適宜選択されている。

上記のような材料の中で、Cr含有量が3.5%（本明細書において、合金成分の含有量についての%は全て重量%を意味する）程度以下の低合金鋼の特徴は、炭素鋼に比べCrを含有することによって耐酸化性、耐熱性と高温強度に優れること、オーステナイトステンレス鋼に比べ格段に安価でかつ熱膨張係数が低く、応力腐食割れをおこさないこと、高Crフェライト鋼に比べても安価で靱性、熱伝導性、溶接性に優れる点にある。

低合金鋼の代表鋼として、上記の2・1/4 Cr-1 Mo鋼(STBA24)、STBA22、STBA20などが規格化されCr-Mo鋼と総称されている。

一方、高温強度を向上させる目的で析出強化元素V、Nb、Ti、TaやBを添加した材料が、特開昭57-131349号、特開昭57-131350号、特開昭62-54062号、特開昭63-62848号等の各公報に提案されている。また、タービンロータやケーシング材料として1Cr-1Mo-0.25V鋼、高速増殖炉用構造材料として2・1/4 Cr-1Mo-Nb鋼などが開発されている。

に対しては、Crの含有量を増すことが有効な対策になるが、これでは低合金鋼としての前記の利点 が失われてしまう。

低合金鋼の耐食性を改善する一つの方法として、Cu、Niをそれぞれ0.02%~0.5%含有させる方法が特開昭62-54065号公報に開示されている。しかしこれは、250℃以下の湿り蒸気、高温凝縮水でのエロージョン、コロージョンに対するもので、これらは500℃を超えるような温度域での高温腐食や、高温酸化とは全く機構の異なるものであり、かかる高温環境で使用される低合金鋼に利用できるかどうかは明らかでない。

（発明が解決しようとする課題）

前述したように従来の低合金鋼の問題点は次の2点である。

- ① 500以上の温度域での耐酸化性、高温耐食性が低いこと。
- ② 高温、特に550℃以上でのクリープ強度が低いこと。

このような問題点が克服されれば、安価でしか

上記の特開昭63-62848号公報に開示される材料は、2・1/4 Cr鋼にMoもしくはMoとWを複合添加し、V、Nb、Bの析出強化と合わせて600℃までの温度域での高強度化を図って、オーステナイトステンレス鋼や高Crフェライト鋼と代替する目的の材料と説明されている。しかしながら、これらの低合金鋼は、550℃以上での高温強度という点では、V、Nbを含む高Crフェライト鋼や18-8系オーステナイトステンレス鋼に劣るのみならず、比較的強度の高い550℃以下の温度域においても耐酸化性や耐食性の点で高Crフェライト鋼やオーステナイトステンレス鋼に格段に劣ることから、用途が制限されることが多い。

例えば、ボイラ熱交換器管では、管外面の著しい高温腐食による管の減肉により負荷応力が増大し、破裂するという事故も生じている。また、管内面の水蒸気酸化スケールが、高Crフェライト鋼、オーステナイトステンレス鋼に比べて厚く、剥離を生じた場合にスケール留りになる部分が過熱して管が破裂する問題も生じている。これらの問題

も材質上も多くの長所をもつ低合金鋼の使用分野は大きく拡大する。

本発明の目的は、従来の3.5%以下のCrを含有する低合金鋼において500℃以上（実用温度としては約550~625℃）における耐酸化性、高温耐食性と高温クリープ強度を大幅に改善するとともに、靱性、加工性、溶接性においても既存の低合金鋼と同等以上の性能を有し、上記の温度域で使用されている高Crフェライト鋼、オーステナイトステンレス鋼に代替できる新しい低合金鋼を提供することにある。

（課題を解決するための手段）

本発明者は、次のような基本的な考え方で上記の課題の解決に取り組んだ。

(a) Cr量は増量せずに、低合金鋼の特徴である安価、高熱伝導性、良好な溶接性、加工性を十分生かした上で、微量元素添加によって耐酸化性、高温耐食性を大幅に向上させること。

(b) 550℃以上、特に600℃での高温クリープ強度を向上させ、既存低合金鋼の強度面からの用途の

制約を少なくすること。

上記の(a)に関しては、従来ほとんど考慮された例がない。(b)に関しては、前述のTi、V、Nb、Bなどの添加例が報告されているもののまだ十分とは言えない。一方、少量のCuの添加を強度改善に利用するということが、例えば特開昭61-166916号公報に示されているが、その発明では高温耐食性や耐酸化性の改善は全く問題にされていない。

本発明者らは、まず耐酸化性、高温耐食性を著しく改善させる手段として、従来全く知られていなかったCuと微量Mgの複合添加が有効である事を発見した。すなわちCuは、後述するようにCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の耐酸化、耐食皮膜を安定化する効果を有するとともに、それ自身が酸化物(Cu-O)皮膜として耐酸化性と耐食性に寄与するが、この効果は微量Mgを複合添加したときのみ大いに発揮される。Cuの単独添加では母材とスケール層との界面および母材の粒界にCuが析出した場合に、Sの偏析と相俟って耐酸化性、耐食性を著しく劣化させる。さら

Mg: 0.0005 ~ 0.5 %、N: 0.005 ~ 0.05 %

残部：鉄および不可避免的不純物。

- ② 上記①の成分の中のMoに代えて 0.1 ~ 3 %のWを含有するもの。
- ③ 上記①の成分に加えて 0.1 ~ 3 %のWを更に含有するもの。
- ④ 上記① ~ ③の成分に加えて更に0.0001 ~ 0.02 %のBを含有するもの。
- ⑤ 上記① ~ ④の成分に加えて更に、それぞれ0.01 ~ 0.2重量%のLa、Ce、Y、Ca、Ti、ZrおよびTaからなる群から選択した1種以上を含有するもの。

先に述べたように、本発明の低合金鋼は、それを構成する多数の合金成分の複合効果によって、総合的に優れた性能をもつに到るのであるが、以下に各成分の作用とその含有量の選定理由を説明する。

(作用)

まず、本発明の鋼を最も特徴づけるCuとMgの複合添加による相乗効果について述べる。

には加工性、靱性、溶接性をも損なう。そのため、従来はCuの含有量は微量に止めなければならないものとされていた。しかし、本発明者の試みたMgの微量添加により、Cuを2.5%まで含有させても安定な靱性、耐酸化性、耐食性、加工性および溶接性を示すことが判明した。

一方、高温クリープ強度向上のためには固溶強化元素であるMo、Wに加え、V、Nb、C、N等の適正量の添加と、CuおよびMgの複合添加による強化作用を総合的に活用することにより、従来の低合金鋼をはるかに凌ぐ強度を持たせ得ることを見出した。

上述の知見に基づく本発明は、下記の組成をもつ高温強度が高く耐酸化性、高温耐食性に優れた低合金鋼を要旨とする。

- ① C: 0.02 ~ 0.2 %、 Si: 0.7 %以下、  
Mn: 0.1 ~ 1.5 %、 Ni: 1 %以下、  
Cr: 0.8 ~ 3.5 %、 Mo: 0.1 ~ 1.5 %、  
V: 0.01 ~ 0.5 %、 Nb: 0.01 ~ 0.2 %、  
Al: 0.005 ~ 0.05 %、 Cu: 0.1 ~ 2.5 %、

従来から知られているように、Cuを単独添加すると固溶強化、析出強化が期待できるものの、その効果は0.5%程度で飽和する。一方、Cuの添加は耐酸化性の向上にも効果があるが、この効果も微量の含有量で飽和してしまう傾向にある。更に多量のCuを添加した場合は、かえって強度を低下させるばかりか靱性、熱間加工性、溶接性を著しく低下させる。ところが、本発明者の試験研究によって、CuとともにMgを微量添加すれば低合金鋼の耐酸化性、高温耐食性、靱性、強度、加工性が大幅に改善されることが確認されたのである。

すなわち、耐酸化性、高温耐食性に関しては、鋼の表面に生成するCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>スケール皮膜が重要な働きをするが、高Crフェライト鋼、オーステナイトステンレス鋼に比べCr量の少ない低合金鋼はこの点では不利であった。CuはこのCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>皮膜と母材の間にCu富化酸化物を形成して上記特性を改善するが、Sが存在するとCuとSを含む低熔点化合物を生成し粒界やCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>皮膜を不安定にする。Cuの多量添加による前記の材質劣化はこれが原因で

あり、これは高温強度についても同様である。ところがCuとともに添加される微量Hgは、このSを安定化して、粒界強化に役立つだけでなく、 $Cr_2O_3$ 皮膜やCu-O皮膜をも安定化する作用があることが判明した。後述するようにSの形態制御効果は、CaやY、La、Ce等の希土類元素にもあるものの、スケールの安定化の点ではHgの効果が最も大きい。

一方、高温クリープ強度に関してもCu自身の析出強化や固溶強化をHgが助けていると思われる。従って、Hgと併用する場合、Cuは微量の添加から比較的多量の添加まで可能となり、上記のすぐれた性能を付与することができるのである。

上記効果を得るCu含有量は、少なくとも0.1%であり、2.5%を超えて含有された場合は、Cu自身が多量に粒界析出してしまうためHgを添加しても靱性、加工性、溶接性の低下が著しい。よってCuの適正含有量は0.1~2.5%である。

HgはSの安定化に加え、上記のように高温強度改善効果、 $Cr_2O_3$ 皮膜やCu-O皮膜の安定化、Cu添加による加工性、靱性、溶接性の低下防止の作

用を有する重要元素で、その含有量が0.0005%未満では所期の効果が得られず、0.5%を超えて含有させても効果は飽和する。したがってHgの含有量は0.0005~0.5%が適当である。

CはCr、Fe、Mo、W、V、Nbと結合して炭化物を形成し、高温強度に寄与するとともに、それ自身がオーステナイト安定化元素として組織を安定化する。0.02%未満では炭化物析出が不十分で、かつ $\delta$ -フェライト量が多くなり強度、靱性が不足になる。また0.2%を超える場合は、炭化物が過剰析出して鋼が著しく硬化し、加工性と溶接性が悪くなる。即ち、Cの適正含有量は0.02~0.2%である。

Crは低合金鋼の耐酸化性、高温耐食性の点から不可欠な元素であり、その含有量が0.8%未満では十分な耐酸化性、高温耐食性が得られない。一方3.5%を超えると靱性、溶接性、熱伝導性が低くなり低合金鋼の利点が少なくなる。従って、Crの含有量は0.8~3.5%とする。

Siは脱酸剤として働き、また耐水蒸気酸化特性

を高める元素であるが、0.7%を超えると靱性が著しく低下し、強度に対しても有害である。特に厚肉材料では焼戻し脆化が問題となるので上限を0.7%とする。

Mnは鋼の熱間加工性を改善し、組織の安定化に有効であるが、0.1%未満では十分な効果が得られず、1.5%を超えると鋼を硬化させ加工性、溶接性を損なうとともに、Siと同様に焼戻し脆化感受性を高める。よってMnの含有量は0.1~1.5%とする。

Niはオーステナイト安定化元素であり、かつ靱性改善に寄与するが、その含有量が1%を超えると高温クリープ強度を損なう。また経済性に鑑みても多量添加は不利である。よってNiの含有量は1%以下とする。

Moは固溶強化および微細炭化物析出強化元素として高温クリープ強度の向上に有効であるが、0.1%未満では十分な効果が得られず、一方、1.5%を超えて含有させてもその効果は飽和するとともに、かえって溶接性、加工性を損なう。よってMoの含

有量は0.1~1.5%が適当である。

WはMoと同様に固溶強化および微細炭化物析出強化元素としてクリープ強度の向上に有効であるが、重量%でMoの2倍添加する必要がある。Mo、Wそれぞれの単独添加でも効果があるから、Moに代えてWを使用することができる。更に、両者を複合添加した場合には、それらの相乗効果で高温クリープ強度が一段と向上する。Wは単独添加の場合でも、Moとの複合添加の場合でも0.1%未満では効果がなく、3%を超えると鋼を硬化させて加工性、溶接性を損なうため0.1~3%の範囲とする。575℃以上の高温では、Wの含有量が多い方がクリープ強度は高い。高温での使用では、0.1~0.4%のMoと1.5~3%のWの複合添加がより好ましい。

VはC、Nと結合してV(C、N)の微細析出物を形成する。この析出物は高温長時間クリープ強度の向上に大きく寄与するが、0.01%未満では十分な効果が得られず、0.5%を超える場合にはかえってクリープ強度を損なう。

NbはVと同様C、Nと結合してNb(C、N)を形成しクリープ強度に寄与する。特に600℃以下の比較的低温では著しい強度改善効果を示す。0.01%未満では上記の効果が得られず、また0.2%を超える場合は未固溶NbCが増え、クリープ強度と靱性を損なう。したがってNb含有量は0.01~0.2%が適当である。

Aは脱酸元素として必須であり、含有量として0.005%未満では効果がなく、0.05%を超える場合は、クリープ強度と加工性を損なう。

NはV、Nbとの炭窒化物形成に必要で、0.005%未満ではその効果がない。しかしながら0.05%を超える場合は、組織が細粒化するとともに窒化物が粗大化し、強度と靱性、溶接性、加工性を損なう。よってNの含有量は0.005~0.05%とする。この範囲内でも、低めの0.005~0.015%とするのが好ましい。

上記の各成分の外に、次の成分を必要に応じて添加することができる。

Bは極微量の添加により炭化物を分散、安定化

させる効果がある。0.0001%未満ではその効果が小さく、0.02%を超えると溶接性、加工性を損なうから、Bを添加する場合はその含有量を0.0001~0.02%の範囲にするのがよい。

La、Ce、Y、Ca、Ti、ZrおよびTaは、鋼中の不純物元素(P、S、O)とそれらの析出物(介在物)の形態制御を目的として添加できる。これらの元素のうち少なくとも1種をそれぞれの元素について0.01%以上添加することによって不純物であるO、P、Sを安定で無害な化合物として固定、清浄化し、強度と靱性を向上させる。しかしそれぞれ0.2%を超えると析出物(介在物)が増加し、かえって靱性を損なうので各々の含有量は0.001~0.2%とする。特にCuを添加する本発明鋼では、不純物の清浄化が強度、靱性、加工性の点から重要で、前述のMgの作用を補う目的としてもこれらの元素は有効である。

本発明の鋼は、前述の成分のほか、残部はFeと不可避の不純物からなる。鋼の不純物として代表的なものはPとSである。Pは0.025%以下、S

は0.015%以下に抑えるのが望ましい。これらはいずれも靱性、加工性、溶接性に有害な元素で、特にCuを添加する本発明鋼では、Sが極微量であっても粒界やCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>スケール皮膜、Cu-0皮膜を不安定にし、強度、靱性、加工性劣化の原因となるから、上記の許容上限値以下でもできるだけ少ないほうがよい。

#### (実施例)

第1表に示す化学組成の鋼を50kg真空溶解炉で溶解し、インゴットを1150~950℃で鍛造して厚さ20mmの板とした。

A鋼はSTBA22、B鋼はSTBA24でいずれも既存のCr-Mo低合金鋼である。D鋼~H鋼は2・1/4Cr-1Moを基本成分とし、V、Nb、Cuを添加した比較鋼である。I~Z鋼がCuと微量Mgを複合添加した本発明鋼である。

A鋼、B鋼は通常の熱処理(焼ならし、焼戻し)として920℃×1時間→空冷の後、720℃×1時間→空冷を行った。E鋼~Z鋼は析出強化鋼で、V、Nbを含む高強度材料であり、1050℃×1時間

→空冷後、730℃~750℃×1~2.5時間→空冷とした。焼戻し条件は、Ac<sub>1</sub>変態点を考慮し、焼戻しパラメータで750℃×1時間相当とすることで強度レベルをそろえた。

引張試験片はφ6mm×GL30mmとし、常温および600℃にて試験を行った。クリープ試験片は同じφ6mm×GL30mmの試験片を用い、600℃にて最長10,000時間程度の試験を用い、600℃×10<sup>4</sup>時間クリープ破断強度を求めた。

シャルピー衝撃試験はJIS4号試験片を用い、延性-脆性破壊遷移温度(vTrs)を求めた。さらに耐水蒸気酸化試験としては10×25×2(mm)の板状試験片を用い、水蒸気中650℃×1000時間の加熱試験を行ってスケール厚さを測定した。一方、高温耐食性としてはボイラ中の石灰灰腐食を模擬し、合成灰(1.5M・K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-1.5M・Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-1M・Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)と、1%SO<sub>2</sub>-5%O<sub>2</sub>-15%CO<sub>2</sub>-balance N<sub>2</sub>のガスを使用し、650℃にて20時間の高温腐食に曝した。用いた試験片は15×15×3(mm)板である。

試験結果を第2表にまとめて示す。また、600

$\times 10^4$  時間クリーブ破断強度を第1図に示す。

第2表および第1図に明らかなように、本発明鋼は600℃でのクリーブ破断強度において既存鋼を上回り、さらに高Crフェライト系の代表鋼であるDINのX20CrMoWV121鋼(12Cr-1Mo-0.5W-0.3V-N)以上の強度を示す。Cuを単独添加した比較鋼でも強度改善はみられるが大幅な強度向上はない。

第2図に耐酸化性として水蒸気酸化特性を示す。耐食性はCrの含有量で大きく左右されるため、1Cr系、2・1/4Cr系、3Cr系と区別して示した。ここでも本発明鋼は既存鋼に比べて大幅な改善が認められる。Cu単独添加の比較鋼でも改善効果はあるが、本発明鋼には及ばない。

第3図に示す合成石炭灰中の腐食でも、Cu添加による改善効果が認められ、同じCr量の既存鋼に比べて大幅な耐食性改善である。この場合も、Cuの単独添加より、CuとMgの複合添加の方がはるかに効果が大きい。

第4図にシャルピー衝撃試験遷移温度を示す。

比較鋼ではCuの添加により靱性低下(遷移温度上昇)が認められるが、本発明鋼はCu無添加のC鋼と同等もしくはそれ以上の靱性を有し、微量のMg添加の効果が歴然としている。

本発明鋼は、強度重視の観点よりV、Nbを複合添加した析出強化鋼であるが、CuとMgの上記の効果は、通常のCr-Mo固溶強化鋼でも十分に期待できる。

以上具体的に示したとおり、本発明鋼は従来の低合金鋼よりもはるかに高いクリーブ破断強度を持ち、かつ耐酸化性、高温耐食性が著しく改善されている。更に、靱性、延性でも従来の低合金鋼と同等のすぐれた性能を有する。

(以下、余白)

第1表 (供試材の組成 重量%、残部Fe)

	符号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	W	V	Nb	Al	Cu	Mg	N	B	他
比較鋼	A	0.12	0.37	0.47	0.017	0.005	0.01	0.95	0.56	—	—	—	0.003	—	—	0.011	—	
	B	0.11	0.34	0.45	0.015	0.003	0.01	2.14	0.98	—	—	—	0.007	—	—	0.015	—	
	C	0.12	0.25	0.41	0.013	0.007	0.10	2.10	0.99	—	0.24	0.06	0.012	0.01	—	0.008	—	
	D	0.11	0.33	0.55	0.014	0.004	0.12	2.21	1.02	—	0.23	0.04	0.015	0.15	—	0.012	—	
	E	0.10	0.27	0.57	0.013	0.004	0.11	2.15	0.95	—	0.24	0.07	0.009	0.48	—	0.013	—	
	F	0.09	0.42	0.53	0.015	0.003	0.12	2.18	0.98	—	0.22	0.05	0.005	1.21	—	0.022	—	
	G	0.08	0.37	0.55	0.012	0.005	0.10	2.09	0.95	—	0.23	0.06	0.011	2.45	—	0.025	—	
	H	0.06	0.23	0.48	0.011	0.004	0.08	2.14	1.03	—	0.23	0.06	0.015	2.95	—	0.032	—	
本発明鋼	I	0.10	0.33	0.57	0.009	0.001	0.09	2.12	1.04	—	0.25	0.04	0.008	0.12	0.003	0.010	0.002	
	J	0.09	0.42	0.23	0.012	0.005	0.11	2.20	1.02	—	0.26	0.07	0.006	0.47	0.005	0.008	—	
	K	0.11	0.21	0.62	0.011	0.003	0.07	2.18	1.05	—	0.22	0.08	0.011	1.51	0.012	0.006	—	
	L	0.10	0.35	0.83	0.008	0.004	0.08	2.15	1.01	—	0.24	0.05	0.015	2.37	0.011	0.013	—	
	M	0.06	0.05	0.43	0.008	0.004	0.04	2.08	—	0.87	0.15	0.08	0.020	0.11	0.015	0.006	—	Ti=0.05
	N	0.05	0.12	0.52	0.012	0.003	0.12	2.11	—	1.42	0.20	0.09	0.021	0.55	0.003	0.015	—	Zr=0.03
	O	0.07	0.42	0.83	0.011	0.005	0.13	2.13	—	1.75	0.20	0.05	0.015	1.02	0.001	0.022	—	Ca=0.07
	P	0.07	0.37	0.52	0.013	0.001	0.12	2.10	—	2.52	0.21	0.07	0.007	1.42	0.004	0.017	—	La=0.07, Ce=0.05
	Q	0.10	0.05	0.47	0.012	0.003	0.11	2.05	0.12	1.73	0.23	0.05	0.006	0.52	0.005	0.005	0.003	
	R	0.11	0.09	0.58	0.014	0.004	0.10	2.11	0.33	2.35	0.27	0.06	0.012	0.12	0.003	0.007	—	Y=0.10, Ca=0.10
	S	0.08	0.55	0.42	0.013	0.003	0.09	0.95	0.57	—	0.22	0.07	0.011	0.15	0.002	0.006	0.002	Y=0.10
	T	0.12	0.47	0.45	0.012	0.005	0.05	0.99	0.38	1.60	0.25	0.05	0.011	0.47	0.001	0.015	—	
	U	0.11	0.37	0.55	0.012	0.004	0.11	1.05	0.12	2.02	0.22	0.05	0.009	1.02	0.003	0.012	0.005	La=0.12, Ce=0.05
	V	0.08	0.05	1.21	0.011	0.003	0.32	1.02	0.21	2.53	0.25	0.06	0.009	0.15	0.002	0.013	—	
	W	0.04	0.03	1.21	0.011	0.004	0.22	3.04	0.98	—	0.20	0.08	0.008	0.27	0.005	0.011	0.004	
	X	0.08	0.07	1.22	0.012	0.003	0.15	3.32	—	1.05	0.21	0.07	0.011	0.62	0.012	0.008	—	
	Y	0.15	0.11	0.78	0.017	0.002	0.13	3.12	0.31	1.87	0.17	0.05	0.012	0.98	0.013	0.015	—	La=0.05, Ce=0.05
	Z	0.12	0.25	0.42	0.008	0.001	0.14	3.42	0.15	2.41	0.35	0.04	0.015	1.50	0.001	0.017	0.002	Y=0.10, Zr=0.05

第 2 表 (試験結果)

符 号	常 温 引 張 試 験			600℃ 引 張 試 験			シャルビー 試験遷移温度 (℃)	600℃×10 <sup>4</sup> h クリープ 破断強度 (kgf/mm <sup>2</sup> )	650℃×10 <sup>3</sup> h 水蒸気酸化 スケール厚み (μm)	650℃×20h 合成炭灰中 の腐食量 (mg/cm <sup>2</sup> )	
	引張強さ (kgf/mm <sup>2</sup> )	0.2%耐力 (kgf/mm <sup>2</sup> )	伸 び (%)	引張強さ (kgf/mm <sup>2</sup> )	0.2%耐力 (kgf/mm <sup>2</sup> )	伸 び (%)					
比 較 鋼	A	48.7	32.5	37.8	30.0	21.2	45.0	- 44	5.8	237	243
	B	57.0	36.7	32.0	31.4	26.2	48.3	- 62	6.5	212	225
	C	68.4	57.2	24.7	45.8	40.7	23.3	- 25	8.3	210	230
	D	69.2	56.5	23.0	46.2	39.8	22.1	- 10	7.8	190	210
	E	67.8	58.2	20.6	45.5	40.3	18.4	- 5	8.5	173	207
	F	70.3	57.3	18.5	47.3	40.7	19.3	- 10	9.0	172	198
	G	71.4	59.4	17.8	48.2	42.3	18.7	- 5	8.5	178	188
	H	68.6	57.6	18.3	47.6	41.6	18.8	+ 10	7.8	175	200
本 発 明 鋼	I	67.8	56.3	24.3	45.7	38.5	22.4	- 25	12.4	160	195
	J	68.4	57.2	25.2	46.2	39.9	24.3	- 20	11.0	155	188
	K	69.5	58.2	24.6	46.2	38.7	22.4	- 32	12.5	142	180
	L	70.3	59.0	22.8	48.5	40.1	21.8	- 22	11.7	130	170
	M	67.5	56.4	23.6	45.8	38.4	22.1	- 25	12.5	168	197
	N	66.2	57.3	22.7	44.7	37.6	24.3	- 32	11.7	153	188
	O	67.3	58.2	21.6	45.7	38.2	23.5	- 25	12.8	140	180
	P	68.3	59.0	21.0	46.2	38.0	22.6	- 28	13.2	138	182
	Q	69.6	58.3	24.3	47.3	39.0	21.8	- 32	13.8	155	192
	R	70.4	60.1	21.5	48.3	39.3	23.4	- 30	14.0	160	199
	S	68.9	57.8	22.6	46.4	38.6	22.8	- 40	12.3	165	205
	T	69.3	58.2	23.6	47.2	39.4	24.5	- 35	11.5	158	200
	U	68.1	56.4	21.8	45.8	39.6	22.6	- 35	12.0	155	202
	V	67.0	58.0	23.7	47.3	38.5	24.7	- 40	11.0	170	198
	W	62.4	53.8	24.2	43.2	35.4	23.7	- 22	13.5	127	172
	X	74.1	62.1	23.7	49.5	44.2	24.6	- 25	11.8	120	162
Y	69.3	57.2	22.6	46.3	39.8	23.7	- 22	12.3	115	145	
Z	68.7	56.7	24.2	45.6	38.7	24.0	- 25	14.2	110	140	

(発明の効果)

とCuの含有量との関係を示す図、である。

本発明は、従来の低合金鋼が使用困難であった500～625℃、特に550℃以上の高温におけるクリープ強度と耐酸化性、高温耐食性が顕著に改善された低合金鋼を提供するものである。この鋼は、低合金鋼の長所である靱性、加工性、経済性を兼ね備えた新しい材料としてボイラ、化学工業、原子力などの産業分野で用いる耐熱耐圧部材として管、板、その他さまざまな形状の鍛造品等に広く適用できるものである。

出願人 住友金属工業株式会社

代理人 弁理士 穂上照忠 (ほか1名)

## 4. 図面の簡単な説明

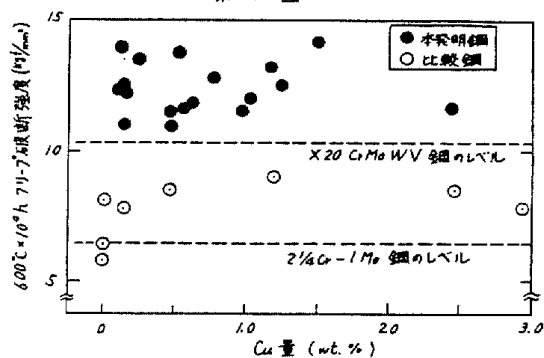
第1図は、本発明鋼および比較鋼の600℃×10<sup>4</sup>時間クリープ破断強度とCuの含有量との関係を示す図、

第2図は、同じく650℃×10<sup>3</sup>時間の水蒸気酸化試験によるスケール厚さとCuの含有量との関係を示す図、

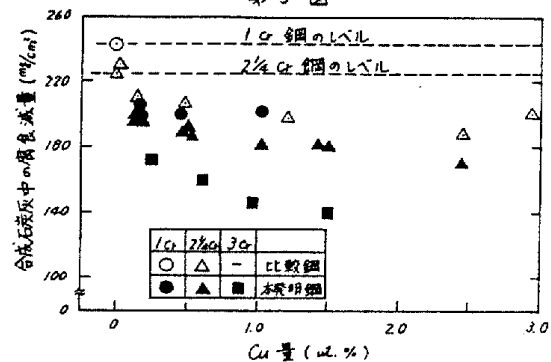
第3図は、同じく合成石灰灰中の腐食減量とCuの含有量との関係を示す図、

第4図は、同じくシャルビー衝撃試験遷移温度

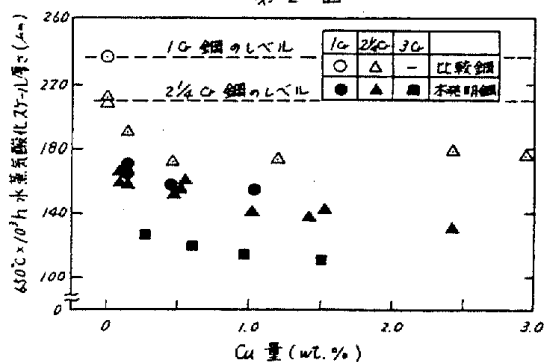
第1図



第3図



第2図



第4図

